

## **DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE CAMPO PRÓXIMO CILÍNDRICO PARA ANTENAS RADAR**

BURGOS MARTÍNEZ, SARA  
MARTÍN JIMÉNEZ, FERNANDO  
SIERRA CASTAÑER, MANUEL  
BESADA SANMARTÍN, JOSÉ LUIS

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

El sistema que se presenta es una herramienta para el análisis de errores en los sistemas de medida en campo próximo cilíndrico. Esta herramienta se va aplicar al análisis de un sistema de medida para antenas RADAR de grandes dimensiones, cuya banda de trabajo es la banda-L. El sistema cilíndrico de campo lejano estudiado se compone de una torre de 17 metros de altura (el scanner es lineal y mide 15.5 metros) que se encuentra separada del centro de la antena RADAR entre 4 y 7 metros. De hecho, el RADAR está situado en su posicionador azimutal y el sistema debe permitir las medidas de la antena sin tener que parar el movimiento de rotación, midiendo así dos polarizaciones (horizontal y vertical). Una vez adquirido el campo próximo, se procesan las medidas de campo próximo cilíndrico para obtener el campo lejano y se obtienen el diagrama de radiación en campo lejano y la ganancia. Además, un post-procesado de la información permite la obtención de los parámetros fundamentales del diagrama de radiación. Este artículo pretende realizar un estudio de los errores que pueden producirse en el proceso de medida que son susceptibles de afectar a los resultados finales. Para ello, en primer lugar se caracteriza el sistema de medida estudiado. Después, se analiza el proceso de transformación llevado a cabo para convertir el campo próximo cilíndrico adquirido en campo lejano, así como su validación mediante una comparación entre el campo lejano teórico y el campo lejano obtenido tras una adquisición cilíndrica ideal del campo próximo. A continuación, se realiza el análisis de los errores que se pueden producir, para analizar el efecto que tienen dichas fuentes de error en el proceso de transformación de campo lejano. Por último, tras interpretar los resultados obtenidos gracias al simulador de errores, se procede a extraer las principales conclusiones del estudio.



# DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE CAMPO PRÓXIMO CILÍNDRICO PARA ANTENAS RADAR

Sara Burgos Martínez<sup>(1)</sup>, Fernando Martín Jiménez<sup>(1)</sup>, Manuel Sierra Castañer<sup>(1)</sup>, J. L. Besada Sanmartín<sup>(1)</sup>.

sarab@gr.ssr.upm.es, fmartin@gr.ssr.upm.es, m.sierra.castaner@gr.ssr.upm.es, besada@gr.ssr.upm.es.

<sup>(1)</sup>Grupo de Radiación, Dpto. de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria. 28040. Madrid.

**Abstract-** A cylindrical near field measurement system for huge L-band RADAR antennas has been designed, and it is under construction. The cylindrical near field system consists on a 17 meters tower (15.5 meters linear scanning), placed at a distance between 4 and 7 meters from the center of the RADAR antenna. The RADAR antenna is placed on its azimuth positioner, and the system must allow the measurement of the antenna without stopping the rotation movement, measuring two linear polarizations (horizontal and vertical). The system can work in both transmission and reception. This paper presents the main specifications of the measurement system, the design process of the system, the near field to far field transformation software and a study of the errors in the field transformation process due to some error sources.

## I. INTRODUCCIÓN

El sistema diseñado es un sistema de campo próximo cilíndrico, donde la antena RADAR rota alrededor de su propio posicionador, y la sonda – de doble polarización – se mueve de forma lineal a lo largo de 15.5 metros, parándose en cada uno de las posiciones definidas para adquirir el campo próximo. Además, la antena se caracteriza por poder trabajar tanto en recepción como en transmisión. Una vez adquirido el campo próximo, se procesan las medidas de campo próximo cilíndrico para obtener el campo lejano y se obtienen el diagrama de radiación en campo lejano y la ganancia. Un post-procesado permite la obtención de los parámetros fundamentales del diagrama de radiación.

Este artículo se centra en simulaciones de diversos errores que se pueden producir en el sistema y se divide en los apartados siguientes: el 2º describe las **características y especificaciones principales del sistema**; después el 3º detalla el **software de transformación de campo cilíndrico próximo a campo lejano**; posteriormente el 4º consiste en la **validación del método aplicado**; a continuación, el 5º explica el **simulador de errores diseñado** y por último el 6º detalla los **resultados obtenidos**.

## II. PRINCIPALES ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE MEDIDA

Las principales especificaciones del sistema son:

- Dimensiones máximas de la Antena Bajo Prueba (AUT): en longitud = 12 m y en altura = 7.5 m.
- Rango de frecuencias: banda L: 1215 – 1400 MHz.

- Máxima longitud de la guía lineal: 15.5 metros.
- Distancia entre la AUT y la sonda: entre 4 y 7 metros.
- Rango angular en azimut:  $0^\circ \leq \Phi \leq 360^\circ$ .
- AUT: arrays de dipolos con distribuciones de amplitud uniforme, Taylor o Bailyss en los planos vertical y horizontal, y diferente en recepción o transmisión.
- Mínima velocidad de rotación de la AUT (velocidad del proceso de medida): 5 – 7.5 rpm.
- Errores de medida asumibles en la banda de frecuencia:
  - o Máximo error en ganancia:  $\pm 0.5$  dB.
  - o Error a -30 dB SLL:  $\pm 2$  dB.
  - o Error a -40 dB SLL:  $\pm 3$  dB.

Un primer estudio ha sido realizado basándose en una antena teórica, cuyas principales características son:

- Longitud: 2.52 metros (14 columnas).
- Altura: 2.08 metros (16 filas).
- Elemento de radiación: dipolo  $\lambda/2$  vertical.
- Excitación en las columnas: uniforme en amplitud y fase.
- Excitación en las filas: simétrica en amplitud y fase.
- Distancia entre la antena y la sonda: 4 metros.
- Sonda: bocina ideal  $\cos^{14}\theta$ .
- Longitud de la guía vertical: 15.5 metros.
- Frecuencia: 1215 MHz.
- Adquisición cilíndrica de campo cercano: 112 posiciones angulares y 124 posiciones verticales (muestras separadas  $12.5 \text{ cm} \approx \lambda/2$ ).

El siguiente esquema representa el sistema estudiado:

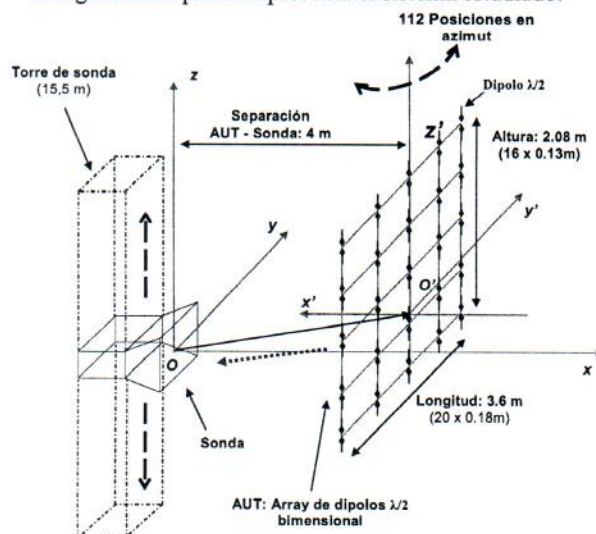




Fig. 1. Sistema estudiado.

### III. TRANSFORMACIÓN DE CAMPO PRÓXIMO A CAMPO LEJANO

El método empleado para determinar el campo a partir de los datos de campo próximo con corrección de sonda en una superficie cilíndrica que encierra la antena está basado en la formulación de **matriz de scattering** (scattering matrix formulation) – [1], [3] – donde se puede obtener la ecuación de acoplamiento a partir de diferentes tipos de matrices de scattering. Dichas matrices relacionan las amplitudes de los modos de guía onda con los coeficientes de expansión mediante transformaciones matriciales lineales. De hecho, se pueden considerar estas matrices como definiciones o desarrollos de las ecuaciones de Maxwell.

Para llevar a cabo medidas precisas, se ha de considerar que la sonda utilizada para medir influye en las muestras tomadas. Por lo tanto, se ha de realizar una corrección de sonda para compensar este efecto indeseado. Realmente, es posible hacer este ajuste una vez que las funciones complejas de ponderación de amplitud – en el desarrollo de onda de campo cilíndrico radiado por la sonda – son conocidas. De hecho, se pueden hallar estas funciones a partir de la amplitud y la fase del campo lejano radiado por la sonda.

La secuencia del algoritmo de conversión de campo próximo a lejano se divide en los siguientes pasos [[4]-[8]]:

1. **Medidas de campo cilíndrico** con la sonda orientada en los ejes  $z$ - y  $\phi$ -:  $E_z(\phi, z)$ ,  $E_\phi(\phi, z)$ .
2. **Muestreo del campo próximo.**
3. **Determinación de los productos de acoplamiento:**  $T_z(\phi, z)$ ,  $T_\phi(\phi, z)$ .
4. **Corrección de Sonda:**
  - a. Evaluación de los planos principales del campo próximo de la sonda.
  - b. Muestreo del campo próximo de la sonda.
  - c. Obtención de los coeficientes modales de la sonda.
  - d. Cálculo de los espectros de Recepción y de scattering de la sonda.
  - e. Determinación de los coeficientes de corrección de sonda:  $\gamma_z(n, h)$ ,  $\gamma_\phi(n, h)$ ,  $\alpha_z(n, h)$ ,  $\alpha_\phi(n, h)$ .

5. **Estimación de los coeficientes modales de la AUT:**

$$a(n, h) = \frac{\begin{bmatrix} T_\phi(n, h) & \alpha_\phi(n, h) \\ T_z(n, h) & \alpha_z(n, h) \end{bmatrix}}{\Delta(n, h)} \quad (1)$$

$$b(n, h) = \frac{\begin{bmatrix} \gamma_\phi(n, h) & T_\phi(n, h) \\ \gamma_z(n, h) & T_z(n, h) \end{bmatrix}}{\Delta(n, h)} \quad (2)$$

$$\Delta(n, h) = \begin{bmatrix} \gamma_\phi(n, h) & \alpha_\phi(n, h) \\ \gamma_z(n, h) & \alpha_z(n, h) \end{bmatrix} \quad (3)$$

6. **Determinación del campo lejano de la AUT:**

$$E_\phi(r, \phi, z) = \frac{-2k \sin \theta \cdot e^{-jkr}}{r} \sum_{n=-n_{\max}}^{n_{\max}} j^n a(n, k \cos \theta) \cdot e^{jn\phi} \quad (4)$$

$$E_\theta(r, \phi, z) = \frac{-2k \sin \theta \cdot e^{-jkr}}{r} \sum_{n=-n_{\max}}^{n_{\max}} j^{n+1} b(n, k \cos \theta) \cdot e^{jn\phi} \quad (5)$$

### 7. Cálculo de los parámetros de la AUT:

$$D_0 = 4\pi r_0^2 \frac{\langle S_{\max} \rangle}{P_{\text{radiada}}} \quad (6)$$

$$\langle S_{\max} \rangle = \max \left[ \frac{1}{2\eta_0} \left( |E_{\theta \max}|^2 + |E_{\phi \max}|^2 \right) \right] \quad (7)$$

$$P_{\text{radiada}} = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} r_0^2 \cdot S(\phi, \theta) \cdot d\phi d\theta \quad (8)$$

### IV. MÉTODO DE VALIDACIÓN

Para validar el método de transformación, se ha realizado una comparación entre el campo lejano teórico y el campo lejano procesado a partir de una adquisición cilíndrica ideal.

Por un lado, se calcula el campo teórico multiplicando el factor de array por el diagrama de radiación de un dipolo  $\lambda/2$ . Por otro lado, la adquisición ideal se realiza para un cilindro de 4 metros de radio y de generatriz 15.6 metros.

Así pues, se evalúa el campo recibido en cada punto de la malla, considerando el campo radiado por todos los dipolos, que ponderado por el diagrama de radiación de la sonda.

De hecho, la expresión del campo recibido procedente de cada uno de los dipolos en un punto de la malla es la siguiente:

$$E_z = I_{mn} \left( \frac{e^{-jkR_1}}{R_1} \cos^q \theta_1 + \frac{e^{-jkR_2}}{R_2} \cos^q \theta_2 - 2 \cos(kL_1) \frac{e^{-jkr}}{r} \cos^q \theta \right) \quad (9)$$

siendo los ángulos y distancias los que se muestran en la figura siguiente:

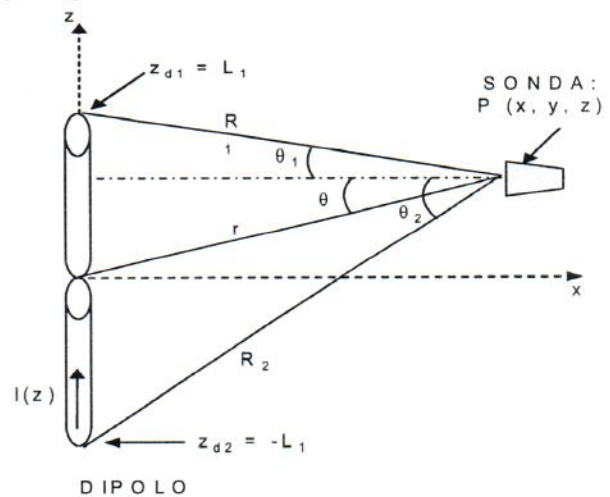


Fig. 2. Geometría del dipolo y la sonda.

Las siguientes figuras (Fig. 3 y Fig. 4) representan la comparación en los planos principales entre el campo lejano teórico y el campo lejano obtenido tras el procesado de 2 etapas: en primer lugar se adquiere el campo cilíndrico cercano y después se aplica la transformación de dicho campo a campo lejano.

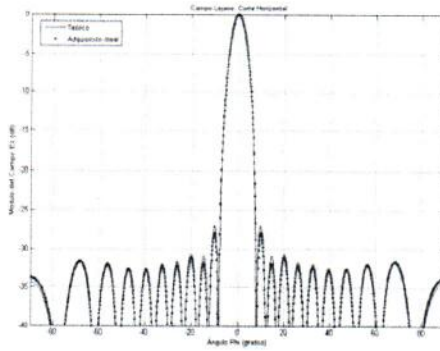


Fig. 3. Comparación entre el campo lejano teórico y el obtenido tras la transformación del campo próximo ideal adquirido en el plano Horizontal.

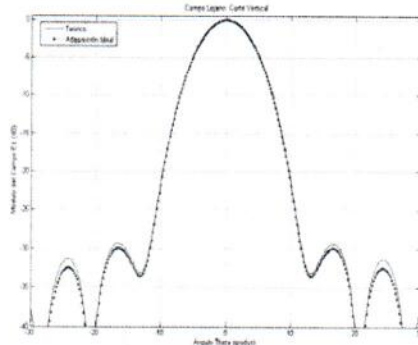


Fig. 4. Comparación entre el campo lejano teórico y el obtenido tras la transformación del campo próximo adquirido ideal en el plano Vertical.

## V. SIMULADOR DE ERRORES

El diagrama del proceso de simulación realizado es el siguiente:

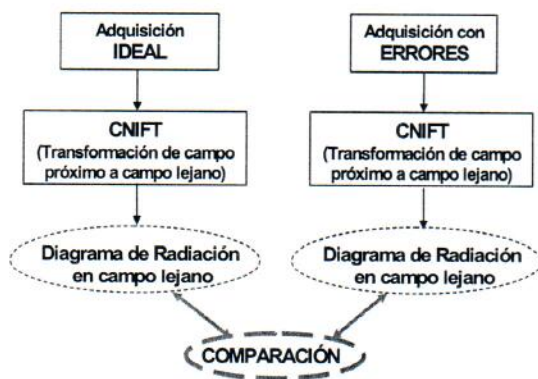


Fig. 5. Diagrama del proceso de simulación.

Para analizar los efectos de errores deterministas y aleatorios que se pueden producir, se han estudiado 5 casos posibles de error:

1. Error **determinista** en el eje X de la sonda,  $X_s$  (Curvatura en forma de un seno de 4 periodos y  $\sigma=\pm 1\text{mm}$ ).
2. Error **aleatorio** en el eje X de la sonda,  $X_s$  (3 iteraciones y  $\sigma=\pm 1\text{mm}$ ).
3. Error **aleatorio** en el eje Z de la sonda,  $Z_s$  (3 iteraciones y  $\sigma=\pm 2\text{mm}$ ).
4. Error **aleatorio** en el eje Y de la sonda,  $Y_s$  (3 iteraciones y  $\sigma=\pm 2\text{mm}$ ).

## VI. RESULTADOS OBTENIDOS

### A. Comparación entre la Adquisición Ideal y la Adquisición con Errores

Las siguientes gráficas muestran las representaciones de los diagramas de radiación más relevantes.

1. **Caso1:** Error **determinista** en  $X_s$  (Seno de 4 periodos y  $\sigma=\pm 1\text{mm}$ )

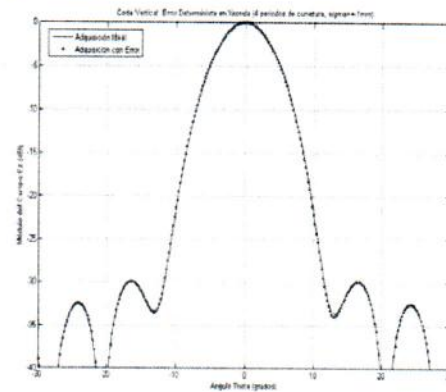


Fig. 6. Error Determinista en  $Z_s$ , Plano Vertical.

2. **Caso2:** Error **aleatorio** en  $X_s$  (3 iteraciones y  $\sigma=\pm 1\text{mm}$ )

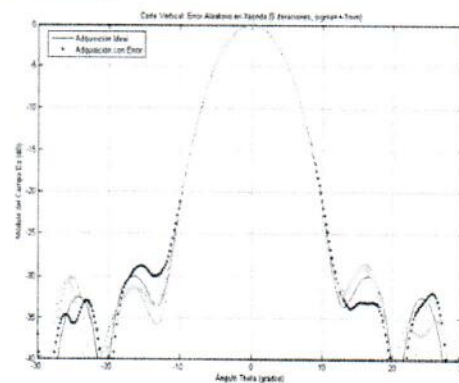


Fig. 7. Error Aleatorio en  $X_s$ , Plano Vertical.

3. **Caso3:** Error **aleatorio** en  $Z_s$  (3 iteraciones y  $\sigma=\pm 2\text{mm}$ )

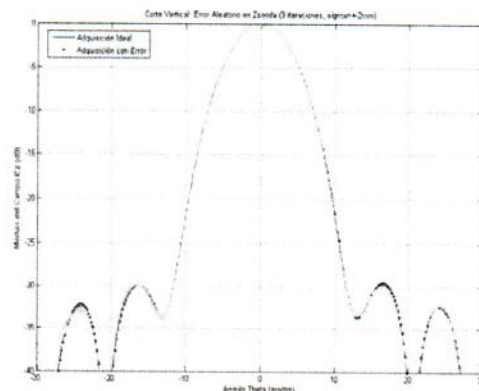


Fig. 8. Error Aleatorio en  $Z_s$ , Plano Vertical.



#### 4. Caso4: Error aleatorio en Ys (3 iteraciones y $\sigma=\pm 2\text{mm}$ )

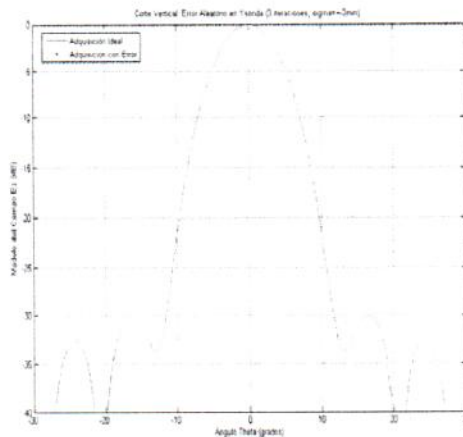


Fig. 9. Error Aleatorio en Ys, Plano Vertical.

Estos diagramas de radiación ponen de manifiesto la importancia de los errores en el plano vertical. Los errores más perjudiciales corresponden a los que se introducen cuando existe una variación aleatoria en el eje. Además, cabe resaltar que los errores producidos en el plano horizontal son casi insignificantes.

#### B. Estudio del Efecto de los errores

Las tablas que se presentan a continuación resumen los errores cuadráticos medios (RMS) en ambos planos.

Nivel de Lóbulos Secundarios – SLL (dB)	[-35, -30]	[-30, -25]
Error Determinista en Xsonda (4 periodos de curvatura y $\sigma=\pm 1\text{mm}$ )	=0	0,0003
Error Aleatorio en Xsonda (3 iteraciones y $\sigma=\pm 1\text{mm}$ )	0,0001	0,0006
Error Aleatorio en Zsonda (3 iteraciones y $\sigma=\pm 2\text{mm}$ )	=0	=0
Error Aleatorio en Ysonda (3 iteraciones y $\sigma=\pm 2\text{mm}$ )	0,004	0,0002

Tabla 1: Errores RMS en el plano Horizontal

Nivel de Lóbulos Secundarios – SLL (dB)	1º Lóbulo Secundario	2º Lóbulo Secundario
Error Determinista en Xsonda (4 periodos de curvatura y $\sigma=\pm 1\text{mm}$ )	0,018	0,016
Error Aleatorio en Xsonda (3 iteraciones y $\sigma=\pm 1\text{mm}$ )	0,50	1,10
Error Aleatorio en Zsonda (3 iteraciones y $\sigma=\pm 2\text{mm}$ )	0,03	0,13
Error Aleatorio en Ysonda (3 iteraciones y $\sigma=\pm 2\text{mm}$ )	0,0001	0,0009

Tabla 2: Errores RMS en el plano Vertical

Analizando los resultados presentados en las tablas anteriores, por una parte cabe resaltar que para el plano horizontal, el error se ha calculado en función del nivel de los lóbulos secundarios, ya que existe un gran número de lóbulos secundarios. Por otra parte, en el plano vertical, el estudio del efecto de los errores se ha llevado a cabo para el primero y para el segundo lóbulo de forma independiente.

## VII. CONCLUSIONES

Las conclusiones más importantes que se pueden extraer de este estudio son las siguientes:

- Lo primero que se observa es que los errores son mucho más importantes en el plano vertical que en el horizontal.
- Además, se aprecia que la principal fuente de error corresponde a la variación del eje X de sonda (eje que indica la separación del RADAR de la torre de medida).
- Por otro lado, se comprueba que las desviaciones en las posiciones Y y Z de la sonda casi no afectan a los diagramas de radiación.

Tras este análisis inicial, se van a desarrollar las siguientes líneas futuras, que permite esta herramienta elaborada:

- En primer lugar, para completar dicho análisis, se van a llevar a cabo más simulaciones con antenas de mayores dimensiones.
- Además, se va a realizar un examen más amplio de los errores que pueden influir en el sistema. Para ello, se van a buscar otros tipos de errores que pueden influir en los resultados finales, para ver cómo afectan realmente estas variaciones en los diagramas de radiación obtenidos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer el apoyo recibido por parte de INDRA Sistemas para el desarrollo de este trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] Jørgen Appel Hansen, "On Cylindrical Near-Field Scanning Techniques", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-28, No. 2, pp. 231-234, March 1980.
- [2] W. Marshall Leach, Jr. and Demetrius T. Paris, "Probe Compensated Near Field Measurements on a Cylinder", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-21, No. 4, pp. 435-445, July 1973.
- [3] Arthur D. Yaghjian, "An Overview of Near-Field Antenna Measurements", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-34, No. 1, pp. 30-45, January 1986.
- [4] J. J. Serrano Bermejo, "Software para la conversión de campo próximo cilíndrico a campo lejano incluyendo corrección de sonda. Master Thesis. September 2003.
- [5] W. Rudge, K. Milne, A.D. Olver and P. Knight, "The Handbook of Antenna Design", Vol 1, 1982, pp. 609-614.
- [6] Alan V. Oppenheim, Alan S. Willsky with Ian T. Young, "Signals and Systems", Ed. Prentice-Hall International Editions.
- [7] O. M. Bucci, "Use of Sampling Expansions in Near-Field-Far-Field Transformations: The Cylindrical Case", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 36, No. 6, pp. 830-835, June 1988.
- [8] Z. A. Hussein, Y. Rahmat-Samii, "Probe Compensation Characterization in Cylindrical Near-Field Scanning", IEEE, pp. 1808-1811, 1993.
- [9] Robert S. Elliot, "Antenna Theory and Design", Ed. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

